

นิพนธ์ต้นฉบับ

ประสิทธิภาพของเตาอบไม้แบบให้ความร้อนโดยตรง
กรณีศึกษาการอบถาดพิซซ่าที่ผลิตจากไม้จามจุรีThe Performance of Direct Heating Kiln:
A Case Study of Pizza Tray Drying from *Samanea Saman* Woodธิตี วานิชดิตรัตน์¹ศิริลักษณ์ สุขเจริญ¹อิสริย์ ฮาวปินใจ^{1*}อานนท์ เพิ่มพูล²นทีธรณ์ สิงห์สุวรรณ²ต่อลาภ คำโย²Thiti Wanishdilokratn¹Siriluk Sukjareon¹Itsaree Howpinjai^{1*}Arnon Phernpool²Nateethorn Singsuwan²Torlarp Kamy²¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140¹Department of Forest Industry Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140, Thailand²สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140²Department of Agroforestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140, Thailand

*Corresponding Author; E-mail: itsaree_ho@mju.ac.th

รับต้นฉบับ 31 ตุลาคม 2565

รับแก้ไข 29 ธันวาคม 2565

รับลงพิมพ์ 9 มกราคม 2566

ABSTRACT

The study aimed to determine the physical and mechanical properties of wood such as moisture, density, specific gravity, shrinkage of wood, modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE). Parameters also included the moisture content of pizza tray, fuel content, fuel cost, temperature in the fuel compartment, and the temperature in kiln for 3 baking kilns with each kiln baking pizza trays for seven days. It was found that the wood had an average moisture content of 29.26 ± 2.54 percent, a mean density of 618.19 ± 6.42 kg/m³, specific gravity of 0.65 ± 0.06 , an average tactile shrinkage of 6.96 ± 0.43 percent, a mean radial shrinkage of 3.67 ± 0.76 percent, and a front cross-sectional shrinkage of 0.38 ± 0.23 percent. After drying, the MOR was 55.07 ± 1.89 MPa and MOE was $5,050.13 \pm 24.72$ MPa. It was found that the average moisture content of the pizza tray on day 7 was the lowest at around 15.51 percent, the average fuel used during baking was 21.23 kg, the average baking fuel cost was 30.57 Baht, and the temperature used in baking on day 5 had the highest mean at 72.24°C and the temperature used for baking on day 5 was 84.14°C .

Keywords: Kiln; Physical properties of wood; Mechanical properties of wood; Temperature; *Samanea Saman* wood

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของเตาอบไม้แบบให้ความร้อนโดยตรง กรณีศึกษาการอบถาดพิชซ่าที่ผลิตจากไม้จามจรี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์ ได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ การหดตัว และความแข็งแรงของไม้จามจรี รวมถึง ข้อมูลความชื้นของถาดพิชซ่า ปริมาณเชื้อเพลิง ต้นทุนของเชื้อเพลิง อุณหภูมิในช่องใส่เชื้อเพลิง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ โดยการอบจำนวน 3 เตา แต่ละเตาจะอบถาดพิชซ่าด้วยระยะเวลา 7 วัน พบว่า ไม้จามจรีมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 29.26±2.54 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 618.19±6.42 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.65±0.06 ค่าการหดตัวทางด้านสัมผัสเฉลี่ยร้อยละ 6.96±0.43 ค่าการหดตัวทางด้านรัศมีเฉลี่ยร้อยละ 3.67±0.76 และการหดตัวทางด้านหน้าตัดเฉลี่ยร้อยละ 0.38±0.23 หลังการอบไม้มีค่าโมดูลัสแตกหัก 55.07±1.89 MPa และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 5,050.13±24.72 MPa ส่วนการศึกษาข้อมูลในการอบถาดพิชซ่า พบว่า ปริมาณความชื้นของถาดพิชซ่าวันที่ 7 ต่ำที่สุดเฉลี่ยร้อยละ 15.51 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบเฉลี่ย 21.23 กิโลกรัม ต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบเฉลี่ย 30.57 บาท อุณหภูมิที่ใช้ในการอบวันที่ 5 สูงที่สุดเฉลี่ย 72.24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบวันที่ 5 เฉลี่ย 84.14 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: เตาอบไม้ คุณสมบัติทางกายภาพของไม้ คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของไม้ อุณหภูมิ ไม้จามจรี

คำนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมไม้มีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีอุตสาหกรรมไม้ตั้งแต่ในระดับครัวเรือนไปจนถึงระดับโรงงานเป็นจำนวนมาก (Olankitwanich, 2016; Wanishdilokratn *et al.*, 2022) โดยไม้ที่นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมไม้เริ่มมีปริมาณที่ลดลง จากการใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก เช่น ไม้สัก ไม้พะยูน ไม้ชิงชัน เป็นต้น (Young, 2007) ทำให้มีความจำเป็นที่จะนำไม้ประเภทอื่นเข้ามาใช้ประโยชน์ทดแทนโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้จามจรี (*Samanea Saman*) ซึ่งเป็นไม้โตเร็วที่มีลวดลายสวยงาม ราคาไม่แพง หาได้ง่ายตามท้องถิ่น สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เช่น ถาดพิชซ่า ซามอาหาร ปีนโตไม้ เป็นต้น อีกทั้งมีความหนาแน่นต่ำ และน้ำหนักเบา ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง (Staples and Elevitch, 2006; Amankwah *et al.*, 2022)

การอบไม้ เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการใช้ประโยชน์ไม้ในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งชาวบ้านส่วนใหญ่ในพื้นที่จังหวัดแพร่ จะมีการอบไม้ด้วยเตาอบที่ก่อขึ้นเองจากอิฐเผาแบบภูมิปัญญาท้องถิ่น ประเภทเตาอบไม้แบบให้ความร้อนโดยตรง ซึ่งไม่มีการกำหนดระยะเวลา และอุณหภูมิในการอบที่เหมาะสม ทำให้เกิดการอบไม้ที่แห้งอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และเกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา เช่น ไม้แตก ไม้บิด ไม้งอ เป็นต้น รวมถึงการเข้าทำลายของแมลงทำลายไม้จำพวกมอด ส่งผลต่อคุณภาพของไม้ลดลง และเกิดปริมาณของเสียเพิ่มมากขึ้น (Batista *et al.*, 2013; Yin and Liu, 2021)

จากปัญหาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การอบไม้ที่ได้มาตรฐานเป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นต่อการใช้

ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ไม้จามจรี ซึ่งโรงงาน Kst อำเภอสองจังหวัดแพร่ เป็นอีกหนึ่งโรงงานที่มีการใช้ประโยชน์ไม้จามจรีจากการอบด้วยเตาอบไม้แบบให้ความร้อนโดยตรง เนื่องจากเป็นไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ใช้เวลาในการอบไม่นาน (Martinović *et al.*, 2001; Delgado *et al.*, 2014) แต่เนื่องด้วยโรงงานไม่มีการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอบไม้ ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาข้อมูลการอบไม้จากปริมาณความชื้น ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ข้อมูลต้นทุนของเชื้อเพลิง อุณหภูมิในช่องใส่เชื้อเพลิง และอุณหภูมิในเตาอบ และประสิทธิภาพของเตาอบไม้ โดยการศึกษาปัจจัยทางด้านกายภาพและทางกลศาสตร์ของเนื้อไม้ เช่น ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ การยืดหดตัวของเนื้อไม้ ความแข็งแรง เป็นต้น และ เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ไม้จากการอบไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

การหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลศาสตร์ของเนื้อไม้

1. การหาค่าความชื้น ความหนาแน่น และความถ่วงจำเพาะของเนื้อไม้

ตัดตัวอย่างไม้ในลักษณะลูกบาศก์ขนาด 20x20x20 มม. จำนวน 5 ชิ้น วัดขนาดหน้าตัดของตัวอย่างไม้ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier calipers) ในแต่ละด้าน ได้แก่ ด้านหน้าตัด (cross section) ด้านสัมผัส (tangential section) และด้านรัศมี (radial section) จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งแล้วจัดบันทึกผลเป็นน้ำหนักก่อนอบ ต่อมานำไปเข้าไปอบในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักหลังอบ แล้วคำนวณหาความชื้น ความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของ

ตัวอย่างไม้ ตามมาตรฐาน ASTM D 143 standard (2007) ดังนี้

การหาค่าปริมาณความชื้น แสดงดังสมการที่ (1)

$$MC = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_2} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังอบ (กรัม)

การหาค่าความหนาแน่น แสดงดังสมการที่ (2)

$$D = \frac{M}{V} \quad (2)$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

M คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (กิโลกรัม)

V คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร)

การหาค่าความถ่วงจำเพาะ แสดงดังสมการที่ (3)

$$SG = \frac{M_0}{V \times \rho_0} \quad (3)$$

เมื่อ SG คือ ความถ่วงจำเพาะ

M_0 คือ น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)

V คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ρ_0 คือ ความหนาแน่นของน้ำ (= 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2. การหาค่าการหดตัวของเนื้อไม้

ตัดตัวอย่างไม้ในลักษณะลูกบาศก์ขนาด 20 มม. × 20 มม. × 20 มม. จำนวน 5 ชิ้น วัดขนาดหน้าตัดของตัวอย่างไม้ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (vernier calipers) ในแต่ละด้าน ได้แก่ ด้านหน้าตัด (cross section) ด้านสัมผัส (tangential section) และด้านรัศมี (radial section) ที่สามารถอ่านทศนิยมสองตำแหน่ง และบันทึกค่า นำตัวอย่างไม้ไปแช่น้ำในอ่างน้ำสำหรับแช่ไม้ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไม้ขึ้นมาวัดขนาดไม้หลังแช่น้ำในแต่ละด้าน และทำการบันทึกค่า ต่อมาปรับสภาวะไม้ในอุณหภูมิห้อง วัดขนาดไม้ในแต่ละด้านของแต่ละวันจนค่าคงที่ แล้วนำมาคำนวณตามมาตรฐาน ASTM D 143 standard (2007) แสดงดังสมการที่ (4)

$$S = \frac{Si - Si_0}{Si \times 100} \quad (4)$$

S = การหดตัวของไม้จากสดถึงแห้งในอากาศหรือถึงอบแห้ง (ร้อยละ)

Si = ขนาดของไม้เมื่อสดของด้านสัมผัส ด้านรัศมี หรือด้านตามยาว แล้วแต่กรณี (มิลลิเมตร)

Si_0 = ขนาดของไม้หลังผึ่งแห้งในอากาศของด้านสัมผัส ด้านรัศมีหรือด้านตามยาว แล้วแต่กรณี (มิลลิเมตร)

1.3 การทดสอบค่าโมดูลัสแตกหักและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเนื้อไม้

สุ่มตัวอย่างภาคพิชชาก่อนอบแบบสุ่มสมบูรณ์จำนวน 3 เตาดูละ 5 แผ่นรวมทั้งสิ้น 15 แผ่น นำมาตัดตัวอย่างไม้จากบริเวณกึ่งกลางของภาคพิชชามีขนาด 20×20×300 มม. เพื่อนำไปทดสอบหาค่าโมดูลัสแตกหัก (modulus of rupture, MOR) และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity, MOE) ด้วยเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine) ตามมาตรฐาน BS 373 standard (1985) หลังจากนั้นสุ่มชิ้นภาคพิชชากลับการอบในแต่ละเตา 7 วัน จำนวน 3 เตาดูละ 5 แผ่น รวมทั้งสิ้น 15 แผ่น นำมาตัดชิ้นทดสอบ แล้วทำการทดสอบค่าโมดูลัสแตกหัก และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของภาคพิชชา

การเก็บข้อมูลการอบไม้

การเก็บข้อมูลการอบไม้ จากเตาอบไม้แบบให้ความร้อนโดยตรง แสดงดัง Figure 1 โดยทำการแบ่งการเก็บออกเป็น 3 เตาดูละเตาจะอบภาคพิชชาด้วยระยะเวลา 7 วัน โดย สามารถแบ่งการเก็บข้อมูลได้ดังนี้

1. การหาปริมาณความชื้นจากการอบภาคพิชชา โดยทำการสุ่มตัวอย่างภาคพิชชามีทั้งเตา จำนวน 3 เตาดูละ 30 แผ่น รวมทั้งสิ้น 90 แผ่น โดยทำการวัดขนาดความหนาของภาคพิชชามีด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ วัดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยใช้ตลับเมตร และชั่งน้ำหนักภาคพิชชามีเพื่อเป็นน้ำหนักก่อนอบ โดยทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักทุกวันเพื่อเป็นน้ำหนักหลังอบ หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่าความชื้น แสดงดังสมการที่ (1)



Figure 1 Direct heating kiln used to dry the pizza trays

2. การวัดปริมาณเชื้อเพลิง โดยทำการชั่งน้ำหนัก ก่อนใส่เชื้อเพลิงด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก และการคิดต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบ

3. การวัดอุณหภูมิในช่องใส่เชื้อเพลิง โดยใช้ เครื่องวัดอุณหภูมิ แบบอินฟราเรด (infrared thermometer) โดยเฉลี่ยข้อมูลของแต่ละวัน ที่ระยะเวลาห่างกัน 4 ชั่วโมง จำนวน 6 ครั้ง/วัน ได้แก่ เวลา 2.00 น., 6.00 น., 10.00 น., 14.00 น., 18.00 น. และ 22.00 น.

4. การวัดอุณหภูมิภายในเตาอบ โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ซึ่งทำการวัดภายในเตาอบ โดยเฉลี่ยข้อมูลของแต่ละวัน ที่ระยะเวลาห่างกัน 4 ชั่วโมง จำนวน 6 ครั้ง/วัน ได้แก่ เวลา 2.00 น., 6.00 น., 10.00 น., 14.00 น., 18.00 น. และ 22.00 น.

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลปริมาณความชื้นของถาดพิซซ่า ปริมาณเชื้อเพลิง ต้นทุนของเชื้อเพลิง ปริมาณอุณหภูมิช่องใส่เชื้อเพลิง และอุณหภูมิภายในเตาอบ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลและวิจารณ์

ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อไม้

การศึกษาข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อไม้พบว่า ไม้จามจรีมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 29.26 ± 2.54 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 618.19 ± 6.42 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.65 ± 0.06 ค่าการหดตัวทางด้านสัมผัสเฉลี่ยร้อยละ 6.96 ± 0.43 ค่าการหดตัวทางด้านรัศมีเฉลี่ยร้อยละ 3.67 ± 0.76 และการหดตัวทางด้านหน้าตัดเฉลี่ยร้อยละ 0.38 ± 0.23 แสดงดัง Table 1

จากข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.65 และค่าความหนาแน่นของไม้จามจรีเฉลี่ย 618.19 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับ Royal Forest Department (2016) และ Royal Forest Department (2005) ที่ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไม้จามจรี พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.55 และค่าความหนาแน่นของไม้จามจรีเฉลี่ย 620 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

Table 1 Moisture content, density, specific gravity, and shrinkage of pizza trays made of *Samanea Saman* wood

No.	Moisture (percent)	Density (kg/m ³)	Specific gravity	Shrinkage (Percent)		
				Tangential section	Radial section	Cross section
1	27.72	615.20	0.61	7.21	4.32	0.05
2	25.91	615.78	0.61	6.58	4.59	0.21
3	32.44	611.54	0.61	7.58	2.77	0.58
4	29.50	628.31	0.70	6.62	3.23	0.56
5	30.72	620.12	0.73	6.83	3.45	0.48
Average	29.26±2.54	618.19±6.42	0.65±0.06	6.96±0.43	3.67±0.76	0.38±0.23

ข้อมูลคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเนื้อไม้

การศึกษาข้อมูลคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเนื้อไม้พบว่า ไม้จามจรีก่อนอบมีค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ย 46.11 ± 2.66 MPa และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย $4,656.40 \pm 24.21$ MPa ส่วนไม้จามจรีหลังอบมีค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ย 55.07 ± 1.89 MPa และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย $5,050.13 \pm 24.72$ MPa แสดงดัง Table 2

จากข้อมูล ไม้จามจรีหลังอบมีค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ย 55.07 MPa และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 5,050.13 MPa ซึ่งใกล้เคียงกับ Royal Forest Department (2016) และ Royal Forest Department (2005) ที่ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของไม้จามจรี พบว่า มีค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ย 60 MPa และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 5,109 MPa

Table 2 MOR and MOE from before and after drying for each kiln

Kiln	Before drying		After drying	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1	46.92±2.73	4,640.20±20.39	55.87±2.71	5,039.60±28.07
2	44.27±3.52	4,666.80±24.00	53.16±1.88	5,060.20±25.12
3	47.13±1.72	4,662.20±28.23	56.19±1.07	5,050.60±20.98
Average	46.11±2.66	4,656.40±24.21	55.07±1.89	5,050.13±24.72

ข้อมูลปริมาณความชื้นในการอบถาดพิซซา

การศึกษาข้อมูลปริมาณความชื้นในการอบถาดพิซซา พบว่า ปริมาณความชื้นของถาดพิซซาเฉลี่ยทั้ง 3 เตา มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดัง Table 3 โดยปริมาณความชื้นของถาดพิซซาวันที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 29.30 วันที่ 2 เฉลี่ยร้อยละ 26.63 วันที่ 3 เฉลี่ยร้อยละ 25.59 วันที่ 4 เฉลี่ยร้อยละ 23.25 วันที่ 5 เฉลี่ยร้อยละ 22.65 วันที่ 6 เฉลี่ยร้อยละ 18.22 และวันที่ 7 เฉลี่ยร้อยละ 15.51 แสดงดัง Figure 2

จากข้อมูลปริมาณความชื้นการอบไม้วันที่ 7 เฉลี่ยร้อยละ 15.51 ซึ่งใกล้เคียงกับ Phetsongkram and Ngamsritragul (2018) ที่ได้ทำการศึกษการอบแห้งของ

ไม้ยางพารา พบว่า ช่วงความชื้นของไม้หลังการอบอยู่ระหว่างร้อยละ 10-15 และใกล้เคียงกับ Batista *et al.* (2017) ที่ได้ทำการศึกษการวิเคราะห์กระบวนการอบไม้ในโรงงานอบไม้ที่ประเทศบราซิล พบว่า ไม้ที่ทำการอบจะมีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 12-14 ซึ่งไม้ก่อนอบที่มีปริมาณความชื้นสูงจะเกิดการพองตัว ทำให้ผนังเซลล์มีการอ่อนตัวลงส่งผลต่อค่าโมดูลัสแตกหัก และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ลดลง ส่วนไม้หลังอบในสถานะที่เหมาะสมจะมีปริมาณความชื้นที่ลดลง ทำให้ผนังเซลล์เกิดการหดตัวจนมีขนาดคงที่ ส่งผลต่อค่าโมดูลัสแตกหัก และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณความชื้นของไม้จากเตาอบไม้ที่มีประสิทธิภาพควรจะมีค่าความชื้นหลังอบเฉลี่ยประมาณร้อยละ 12 (Sriaran, 1999)

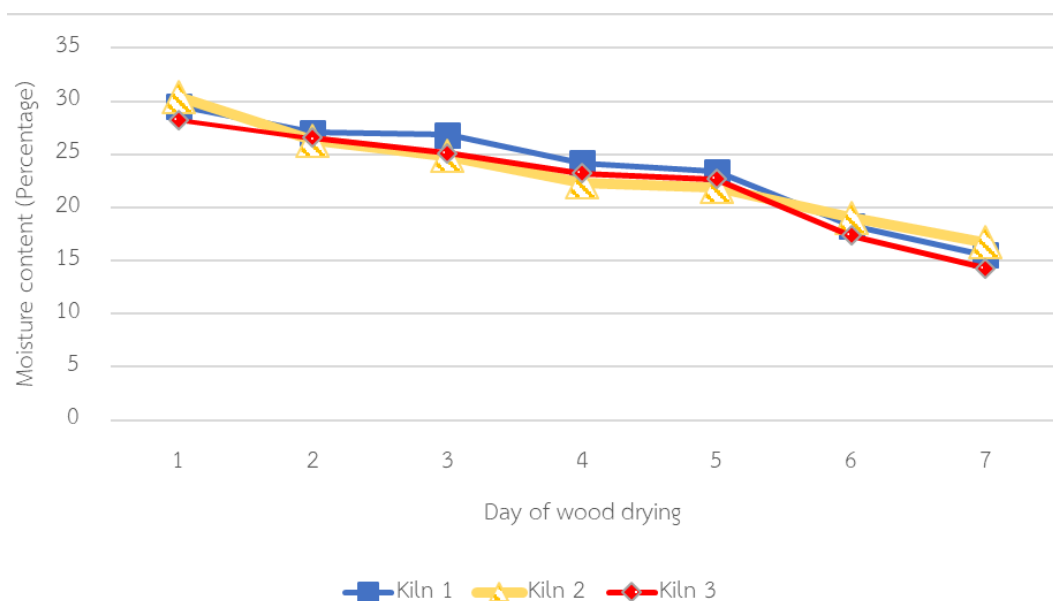


Figure 2 Percentage moisture content of trays dried in each kiln

ข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงในการอบถาดพิชซ่า

การศึกษาข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงในการอบถาดพิชซ่า พบว่า ปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยทั้ง 3 เตา มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงดัง Table 3 โดยปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 1 เฉลี่ย 78.23 กิโลกรัม ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 2 เฉลี่ย 71.67 กิโลกรัม ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 3 เฉลี่ย 72.33 กิโลกรัม ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 4 เฉลี่ย 74.59 กิโลกรัม ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 5 เฉลี่ย 70.64 กิโลกรัม ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 6 เฉลี่ย 50.64 กิโลกรัม และปริมาณเชื้อเพลิง

ที่ใช้ในการอบวันที่ 7 เฉลี่ย 21.23 กิโลกรัม แสดงดัง Figure 3 โดยช่วงวันที่ 1-5 มีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูงเนื่องจากไม้สด โดยความชื้นในเนื้อไม้จากการอบจะเริ่มลดจากผิวหน้าไม้ ไปจนถึงด้านในของเนื้อไม้ จากนั้นเมื่อความชื้นไม้สามารถลดลงได้อย่างคงที่แล้ว จึงสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงลงในวันที่ 6-7

จากข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงในการอบถาดพิชซ่า พบว่า มีความคล้ายคลึงกับ Jiri *et al.* (2018) ที่ได้ศึกษาอิทธิพลของเวลาและสภาวะในการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้ในการอบแห้ง ซึ่งในระยะเวลาช่วงแรกของการอบไม้จะใช้ปริมาณเชื้อเพลิงจำนวนมาก และจะลดปริมาณเชื้อเพลิงลงในช่วงหลังก่อนปิดเตาอบไม้

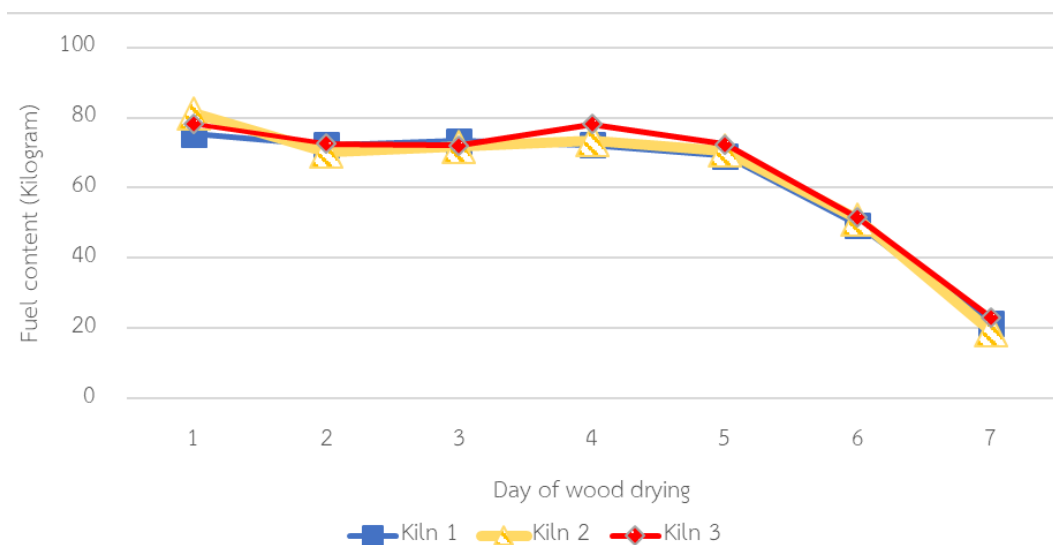


Figure 3 Percentage fuel content used in each kiln

ข้อมูลต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่า

การศึกษาข้อมูลต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่า พบว่า ต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบเฉลี่ยทั้ง 3 เตา มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงดัง Table 3 โดยต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 1 เฉลี่ย 112.66 บาท ต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 2 เฉลี่ย 103.21 บาท ต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 3 เฉลี่ย 104.16 บาท ต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 4 เฉลี่ย 107.40 บาท ต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 5 เฉลี่ย 101.72

บาท ต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 6 เฉลี่ย 72.92 บาท และต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบวันที่ 7 เฉลี่ย 30.57 บาท แสดงดัง Figure 4 จากการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น จะส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่าที่เพิ่มขึ้น

จากข้อมูลต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่า พบว่า มีความใกล้เคียงกับ Sejdii *et al.* (2018) ที่ได้ทำการศึกษาด้านต้นทุนในกระบวนการอบไม้ ซึ่งต้นทุนจะขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงและระยะเวลาที่ใช้ในการอบไม้ในแต่ละครั้ง

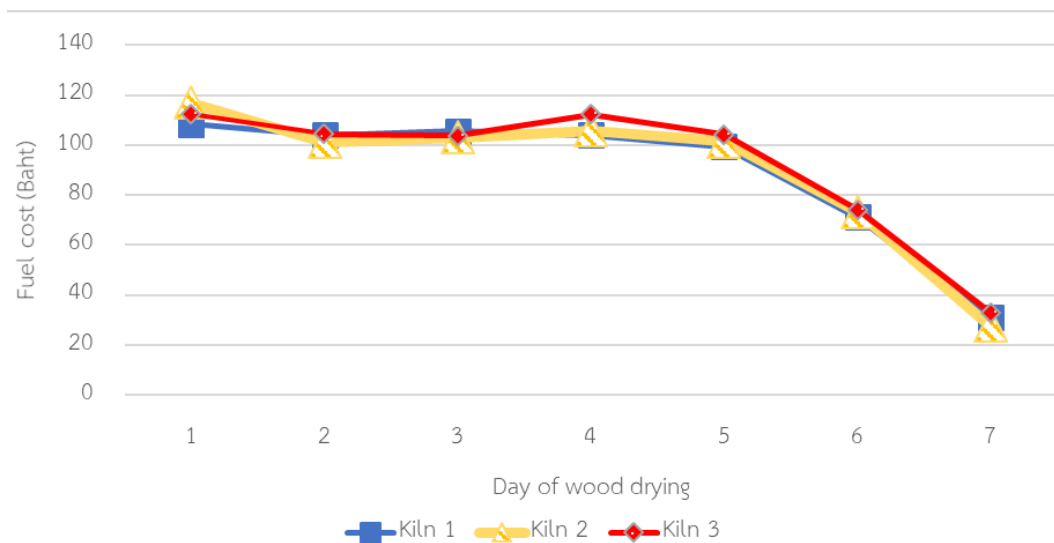


Figure 4 Percentage fuel cost of each kiln

ข้อมูลอุณหภูมิช่องใส่เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่า

การศึกษาข้อมูลอุณหภูมิช่องใส่เชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่า พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบเฉลี่ยทั้ง 3 เตา มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงดัง Table 3 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบวันที่ 1 เฉลี่ย 45.11 องศาเซลเซียส วันที่ 2 เฉลี่ย 51.61 องศาเซลเซียส วันที่ 3 เฉลี่ย 70.05 องศาเซลเซียส วันที่ 4 เฉลี่ย 71.70

องศาเซลเซียส วันที่ 5 เฉลี่ย 72.24 องศาเซลเซียส วันที่ 6 เฉลี่ย 44.23 องศาเซลเซียส และวันที่ 7 เฉลี่ย 18.64 องศาเซลเซียส แสดงดัง Figure 5 โดยช่วงวันที่ 1-2 จะมีการใส่ปริมาณเชื้อเพลิงที่มาก เนื่องจากเป็นการเริ่มเปิดเตาอบจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาไม่สูงมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 3-5 ซึ่งเมื่ออุณหภูมิภายในเตาอบคงที่ จะแปรผันตรงกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่า

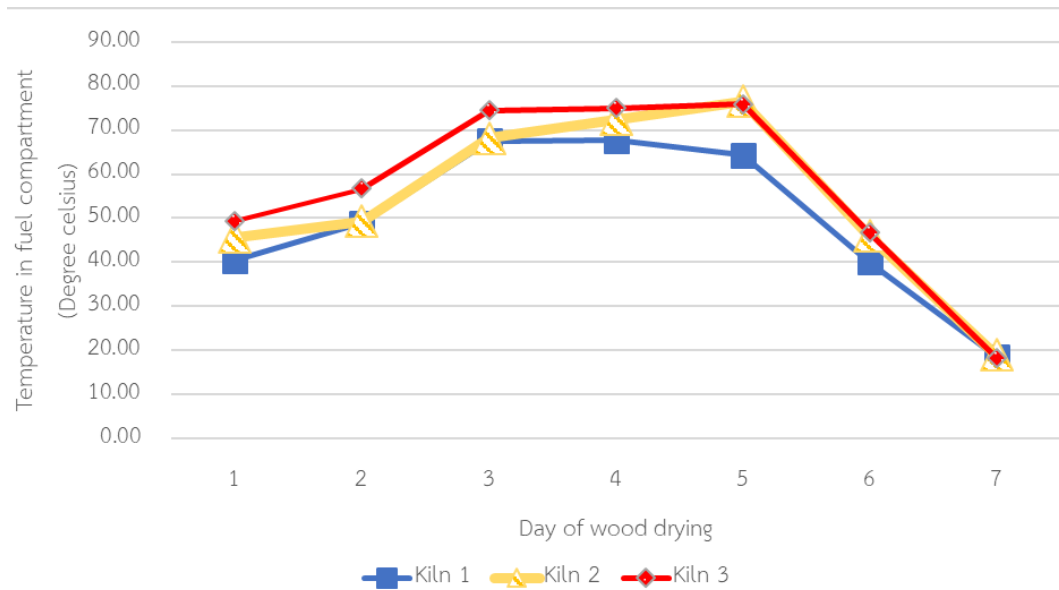


Figure 5 Temperature in the fuel compartment of each kiln

ข้อมูลอุณหภูมิภายในเตาอบที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่า

การศึกษาข้อมูลอุณหภูมิภายในเตาอบที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่า พบว่า อุณหภูมิภายในเตาอบเฉลี่ยทั้ง 3 เตา มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงดัง Table 3 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบวันที่ 1 เฉลี่ย 66.97 องศาเซลเซียส วันที่ 2 เฉลี่ย 78.35 องศาเซลเซียส วันที่ 3 เฉลี่ย 82.69 องศาเซลเซียส วันที่ 4 เฉลี่ย 82.88 องศาเซลเซียส วันที่ 5 เฉลี่ย 84.14 องศาเซลเซียส วันที่ 6 เฉลี่ย 66.89 องศาเซลเซียส และวันที่ 7 เฉลี่ย 44.71 องศาเซลเซียส แสดงดัง Figure 6 โดยอุณหภูมิภายในเตาอบจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิในช่องใส่เชื้อเพลิง ซึ่งจะ

ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในวันที่ 1-2 มีอุณหภูมิที่สูงในวันที่ 3-5 และอุณหภูมิต่ำ ๆ ลดลงในวันที่ 6-7

จากข้อมูลอุณหภูมิภายในเตาอบที่ใช้ในการอบถาดพิชซ่าอยู่เฉลี่ยระหว่าง 44.71-84.14 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับ Ratanawilai *et al.* (2012) ที่ได้ทำการทดสอบการลดเวลาการอบไม้ยางพารา พบว่า ไม้ขนาด 1 นิ้ว และไม้ 1.5 นิ้ว จะใช้อุณหภูมิในการอบอยู่ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส ส่วนไม้ขนาด 2 นิ้ว จะใช้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 65-75 องศาเซลเซียส และแตกต่างกับ Rahimi *et al.* (2022) ที่ได้ทำการทดลองการอบไม้เรดโอ๊ค (red oak) และไม้ป๊อปล่า (yellow-poplar) ที่ต้องใช้อุณหภูมิในการอบประมาณ 105 องศาเซลเซียส

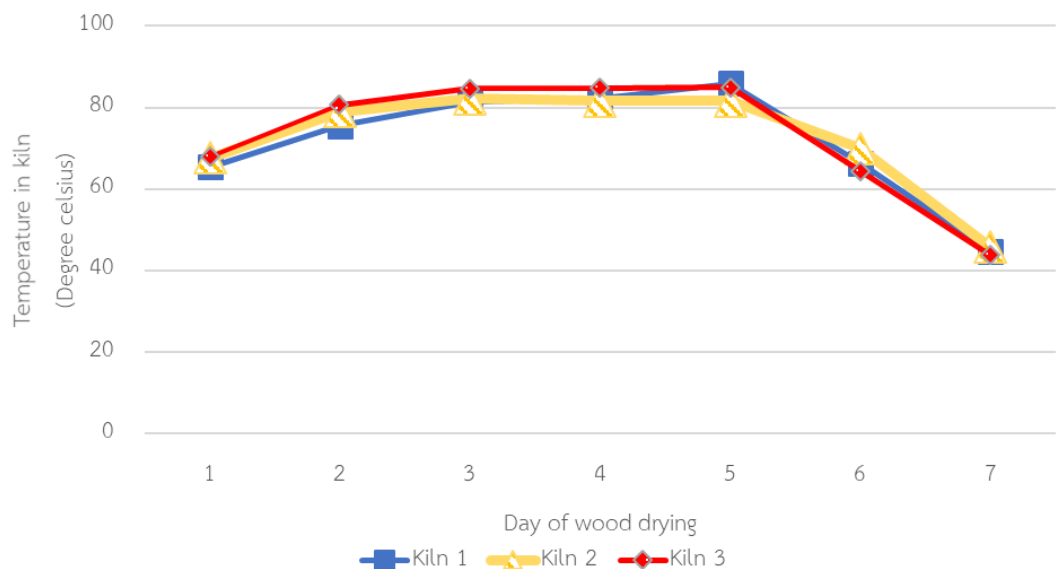


Figure 6 Temperature in each kiln

Table 3 Statistical analysis of moisture content, fuel, cost, fuel temperature, and temperature in the kiln

List	Group	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value
Moisture content	Between groups	9.639	2	4.820	1.862	0.161
	Within groups	225.172	87	2.588		
	Total	234.811	89			
Fuel content	Between groups	32.777	2	16.388	0.358	0.705
	Within groups	685.758	15	45.717		
	Total	718.535	17			
Cost	Between groups	1468.64	2	734.32	6.081	0.120
	Within groups	1811.25	15	120.75		
	Total	3279.88	17			
Temperature in fuel compartment	Between groups	58.311	2	29.156	0.155	0.857
	Within groups	2815.105	15	187.674		
	Total	2873.416	17			
Temperature in kiln	Between groups	5.256	2	2.628	0.524	0.603
	Within groups	75.276	15	5.018		
	Total	80.532	17			

สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพของการอบถาดพิซซาไม้จากไม้จามจูรีด้วยเตาอบไม้แบบให้ความร้อนโดยตรงในโรงงานอบไม้ พบว่า ไม้จามจูรีมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 29.26 ± 2.54 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 618.19 ± 6.42 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.65 ± 0.06 ค่าการหดตัวทางด้านสัมผัสเฉลี่ยร้อยละ 6.96 ± 0.43 ค่าการหดตัวทางด้านรัศมีเฉลี่ยร้อยละ 3.67 ± 0.76 และการหดตัวทางด้านหน้าตัดเฉลี่ยร้อยละ 0.38 ± 0.23 หลังการอบไม้มีค่าโมดูลัสแตกหัก 55.07 ± 1.89 MPa และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น $5,050.13 \pm 24.72$ MPa

ส่วนการศึกษาข้อมูลในการอบถาดพิซซา พบว่า ปริมาณความชื้นของถาดพิซซาวันที่ 7 ต่ำที่สุดเฉลี่ยร้อยละ 15.51 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบเฉลี่ย 21.23 กิโลกรัม ต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบเฉลี่ย 30.57 บาท อุณหภูมิที่ใช้ในการอบวันที่ 5 สูงที่สุดเฉลี่ย 72.24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบวันที่ 5 เฉลี่ย 84.14 องศาเซลเซียส โดยการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในการอบไม้จามจูรีอย่างเหมาะสม จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเตาอบไม้แบบให้ความร้อนโดยตรง

คำนิยาม

ขอขอบคุณ นางวชิราภรณ์ ภูระหงษ์ และนางวันดี ภูระหงษ์ ผู้ประกอบการโรงงาน Kst product อำเภอสอง

จังหวัดแพร่ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในทำวิจัย รวมถึงพี่ ๆ พนักงานในโรงงาน Kst product ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้

REFERENCES

- Amankwaha, N. Y. A., Agbenorhevi, J. K., Rocksonb, M. A. D. 2022. Physicochemical and functional properties of wheat-rain tree (*Samanea saman*) pod composite flours. *Int. J. Food Prop.*, 25(1): 1317-1327. doi: 10.1080/10942912.2022.2077367.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2007. **D 143**. Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber.
- Batista, C.D., Klitzke, R.J., Rocha, M.P., Muñoz, G.I.B., Batista, T.R. 2013. Volume loss as a tool to assess kiln drying of eucalyptus wood. *Floresta Ambiente*, 20(2): 250-256. doi: 10.4322/foram.2013.017.
- Batista, C.D., Lube, V.M., Silva, J.G.M., Vitória, J.B.R. 2017. Analysis of the kiln drying process of a sawmill in Espírito Santo state, Brazil: A case study. *Brazilian Journal of Wood Science*, 8(3): 177-186. doi: 10.12953/2177-6830/rcm.v8n3p.

- British Standard (BS). 1985. **BS 373 Method of Testing Small Clear Specimens of Timber**. British Standards Institution.
- Delgado, D.C., Hera, R., Cairo, J., Orta, Y. 2014. *Samanea saman*, a multi-purpose tree with potentialities as alternative feed for animals of productive interest. **Cuban Journal of Agricultural Science**, 48(3): 205-212.
- Jiri, H., Lenka, K., Sarka, T., Vendula, L., Kamil, K., Frantisek, H., Petr, K., Zdenek, K., Tadeas, O., 2018. Change in the wood moisture dependency on time and drying conditions for heating by wood combustion. **Wood Research**, 63(2): 261-272.
- Martinović, D., Horman, I., Demirdzic, I., 2001. Numerical and experimental analysis of a wood drying process. **Wood Sci. Technol.**, 35(1): 143-156.
- Olankitwanich, A. 2016. **Wood and Furniture Industry in Pathum Thani Province**. Provincial Offices of Natural Resources and Environment Pathum Thani, Ministry of Natural Resources and Environment. (in Thai)
- Phetsongkram, P., Ngamsritragul, P. 2018. Empirical correlation of water evaporation rate from 25. 4- mm thick rubberwood lumber. **KMUTT Research & Development Journal**, 41(3): 323-346. (in Thai)
- Rahimi, S., Singh, K., DeVallance, D., Chu, D., Bahmani, M. 2022. Drying behavior of hardwood components (sapwood, heartwood, and bark) of red oak and yellow-poplar. **Forests.**, 13(1): 722-736. doi: 10.3390/f13050722.
- Ratanawilai, T., Boonseng, K., Chuchom, S. 2012. Drying time reduction of rubberwood. **KKU Research Journal**, 17(4): 505-514. (in Thai)
- Royal Forest Department. 2005. **The Thai Hardwoods**. Forest Research and Development office, Royal Forest Department. (in Thai)
- Royal Forest Department. 2016. **General Characteristics of Thai Timber**. Forest Research and Development office, Royal Forest Department. (in Thai)
- Sejdiu, R., Bejtja, A., Bajraktari, A. 2015. Calculation of cost during timber kiln drying in Kosovo. **International Journal of Ecosystems and Ecology Science**, 5(1): 115-118.
- Sriaran, P. 1999. **Wood Seasoning**. Forest Product Extension Program. Faculty of Forestry, Kasetsart University (in Thai)
- Staples, G.W., Elevitch, C.R. 2006. **Samanea saman (Rain Tree)**. Permanent Agriculture Resources, Hawaii.
- Wanishdilokratn, T., Sukjareon, S., Howpinjai, I., Kamyo, T., Wiangtong, C. 2022. Comparison of timber volumes during teak bed production between Wiang Thong and Mee Kong factories in Sung Men district, Phrae province. **Thai Journal of Forestry**, 41(2): 116-126. (in Thai)
- Yin, Q., Liu, H. 2021. Drying stress and strain of wood: A review. **Appl. Sci.**, 11(11): 5023-5049. doi: 10.3390/app11115023.
- Young, R.A. 2007. **Wood and Wood Products**. Kent and Riegel's Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology. pp. 1234-1293. doi: 10.1007/978-0-387-27843-8_28.